

TANGGAPAN TANAMAN SORGUM (*Sorghum vulgare* Pers.) TERHADAP CEKAMAN NaCl: PERTUMBUHAN DAN OSMOREGULASI

Diah Rachmawati*

INTISARI

Rachmawati, D. 2000. Tanggapan tanaman sorgum (*Sorghum vulgare* Pers.) terhadap cekaman NaCl: pertumbuhan dan osmoregulasi. *Biologi* 2 (9): 515–529.

Sorgum (*Sorghum vulgare* Pers.) merupakan tanaman C₄ anggota familia Gramineae. Tanaman ini mampu tumbuh dengan baik pada kondisi tanah kering atau tanah salin. Tanggapan tanaman terhadap cekaman NaCl meliputi penurunan pertumbuhan, akumulasi senyawa kompatibel, perubahan metabolisme karbon dan nitrogen, serta perubahan dalam ekspresi gen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur pertumbuhan, kandungan prolin dan asam absisat tanaman sorgum pada kondisi cekaman NaCl. Tanaman ditumbuhkan pada pot plastik dan diperlakukan dengan NaCl pada kadar 0 (kontrol); 0,125%; 0,25%; 0,375%; dan 0,50%. Tiap-tiap perlakuan dibuat lima ulangan. Pengukuran kandungan prolin dilakukan dengan metode ninhidrin dan kandungan asam absisat dianalisis dengan metode HPLC.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan NaCl menghambat pertumbuhan tanaman sorgum. Peningkatan kadar NaCl menurunkan tinggi tanaman, berat segar dan berat kering akar dan pucuk, serta kandungan air. Akan tetapi, rasio akar/pucuk, kandungan prolin dan asam absisat meningkat dengan meningkatnya kadar NaCl. Peningkatan kandungan prolin dan asam absisat sebagai tanggapan tanaman untuk meningkatkan toleransinya terhadap cekaman NaCl.

Kata kunci: Cekaman NaCl, akumulasi prolin, *Sorghum vulgare* Pers.

ABSTRACT

Rachmawati, D. 2000. Response of sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.) to NaCl stress: growth and osmoregulation. *Biologi* 2(9): 515–529.

Sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.) is a C₄ plant belongs to familia Gramineae. This plant is able to grow on the dry and saline soil. The responses of plant to NaCl stress

* Fakultas Biologi Universitas Cendekia Medan

include changes in plant growth, accumulation of compatible solutes, changes in carbon and nitrogen metabolism, and alteration in gene expression.

The objective of this study is to measure the growth, proline and abscisic acid content of sorghum under NaCl stress condition. Plant was planted in a plastic pot and treated with NaCl at concentration 0 (control); 0,125%; 0,25%; 0,375%; and 0,50%. Five replicates were made for each treatment. Proline accumulation estimated by ninhydrin method and abscisic acid content analyzed by HPLC method.

The application of NaCl inhibited the growth of sorghum. Increasing concentration of NaCl reduced the plant height, fresh weight dan dry weight of root and shoot, and relative water content. On the other hand, ratio root/shoot, proline and abscisic acid content increased by increasing NaCl concentration. Increasing proline and abscisic acid content are due to plant response to increasing its tolerance to salt stress.

Key words: NaCl stress, proline accumulation, *Sorghum vulgare Pers.*

PENDAHULUAN

Peningkatan konsentrasi garam dalam tanah menyebabkan peningkatan tekanan osmotik yang akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Cekaman garam merupakan cekaman yang kompleks, umumnya ditunjukkan sebagai kondisi kekurangan air karena pengaruh osmotik garam. Selain itu, cekaman garam mempunyai efek toksik karena kelebihan ion yang mengganggu keseimbangan elektrolit dalam sel dan mempengaruhi aktivitas metabolisme (Moons *et al.*, 1995). Keadaan ini menyebabkan pertumbuhan tanaman terganggu. Bahkan pada keadaan yang ekstrim dapat menimbulkan kematian tanaman karena konsentrasi garam

yang tinggi dalam tanah dapat menimbulkan gangguan osmotik, keracunan ion, atau ketidakseimbangan ion (Levitt, 1972).

Adanya cekaman garam memacu tanggapan tanaman untuk berusaha mempertahankan hidupnya. Tanggapan tersebut dapat dilihat dengan terbentuknya senyawa tertentu yang berperan dalam peningkatan ketahanan terhadap cekaman garam di lingkungannya. Menurut Bray (1993), tanggapan tanaman terhadap kekurangan air sangat bervariasi tergantung pada spesies tanaman, derajat, dan lamanya cekaman. Le Rudulier *et al.* (1984) mengemukakan bahwa sistem

mekanisme adaptasi karena adanya cekaman osmotik untuk mencegah dehidrasi seluler dikenal dengan istilah *osmoregulasi*.

Beberapa tanggapan tumbuhan terhadap kondisi cekaman osmotik untuk meningkatkan toleransinya meliputi peningkatan jumlah asam absisat dan akumulasi senyawa kompatibel. Asam absisat sangat esensial sebagai mediator dalam memacu tanggapan tanaman terhadap faktor lingkungan yang merugikan, seperti kekeringan, kadar garam tinggi, temperatur rendah, atau temperatur tinggi. Senyawa kompatibel merupakan senyawa organik dengan berat molekul rendah yang diakumulasi dalam sel dan berfungsi untuk melindungi tanaman terhadap cekaman. Senyawa yang diakumulasi meliputi prolin, poliol, atau betain (Morgan, 1984; Merlot & Giraudat, 1997; Rodriguez *et al.*, 1997).

Tanaman sorgum (*Sorghum vulgare Pers.*) merupakan tanaman C₄ anggota familia Gramineae. Tanaman ini mampu tumbuh dengan baik pada kondisi tanah kering atau pada tanah salin. Sorgum mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai alternatif bahan makanan pokok dalam usaha

mencukupi kebutuhan pangan. Mengingat lahan produktif semakin berkurang sehingga perlu dicari alternatif untuk meningkatkan produksi pertanian, antara lain dengan memanfaatkan lahan-lahan marginal. Namun demikian, lahan marginal umumnya menghadapi kendala kesuburan tanah dan kekeringan. Dengan demikian, perlu dikaji mengenai tanggapan tanaman sorgum terhadap kadar garam tinggi sehingga dapat diperoleh informasi yang berkaitan dengan ketahanan hidup tanaman sorgum pada kondisi salin.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Bahan dan Kondisi Pertumbuhan

Tanaman sorgum varietas UPCA-S1 diperlakukan dengan NaCl (E.Merck) pada kadar 0 (kontrol); 0,125%; 0,25%; 0,375%; dan 0,50%. Tiap-tiap perlakuan dibuat lima ulangan. Sebelum ditanam biji sorgum varietas UPCA-S1 yang diperoleh dari Laboratorium Sumberdaya Genetik Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan Bogor disucihamakan dengan cara direndam dalam 0,5% natrium hipoklorid. Selanjutnya, biji yang telah disucihamakan direndam dalam akuades selama

30 menit, kemudian ditanam dalam pot yang berisi tanah 2,5 kg dengan kadar NaCl sesuai perlakuan. Tanaman disiram secara teratur dua hari sekali. Pengamatan dilakukan pada minggu ke-2, 5, dan 8 setelah tanam.

Pengukuran pertumbuhan

Parameter pertumbuhan yang diamati meliputi tinggi tanaman, berat segar dan berat kering akar dan pucuk, kandungan air, serta rasio akar/pucuk. Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dengan mengukur tinggi tanaman dari permukaan tanah dalam pot hingga tajuk tanaman tertinggi. Berat segar akar dan pucuk ditimbang pada saat panen, sedangkan berat kering akar dan pucuk ditimbang setelah tanaman dikeringkan dalam oven dengan temperatur 80°C sampai mencapai berat konstan. Selanjutnya, dihitung rasio akar/pucuk serta kandungan air akar dan pucuk. Data yang diperoleh dianalisis dengan Anova dan perbedaan antarperlakuan diuji dengan DMRT pada taraf $p < 5\%$.

Penentuan Kandungan Prolin

Kandungan prolin ditentukan dengan metode *ninhidrin* (Bates,

1973). Bahan tanaman sebanyak 0,5 gram ditumbuk dengan mortar di dalam larutan asam sulfosalisilat 3% sebanyak 10 ml. Hasil tumbukan disaring dengan kertas saring Whatman No 1. Dua ml filtrat direaksikan dengan 2 ml asam ninhidrin (larutan asam ninhidrin dibuat dengan memanaskan 1,25 g ninhidrin di dalam 30 ml asam asetat glasial dan 20 ml asam fosfat sampai larut) dan 2 ml asam asetat glasial di dalam tabung reaksi pada suhu 100°C selama 1 jam. Reaksi diakhiri dengan memasukkan tabung reaksi ke dalam gelas piala berisi es. Campuran reaksi diekstraksi dengan 4 ml toluen kemudian digojog dengan stirer 15-20 detik sehingga terbentuk dua lapisan cairan yang terpisah. Toluena merah yang mengandung prolin dibagian atas disedot dengan pipet. Absorban larutan dibaca dengan Spektrofotometer (*Spectronic 21 D, Milton Roy, USA*) pada panjang gelombang 520 nm. Kandungan prolin ditentukan berdasarkan hasil bacaan larutan standar prolin murni.

Pengukuran Kandungan Asam Absisat

Pengukuran kandungan asam absisat dengan metode HPLC

ditentukan berdasarkan luas area kromatogram sampel dibandingkan dengan luas area kromatogram asam absisat standar yang telah diketahui konsentrasinya.

Jaringan segar tanaman dibekukan pada 70°C selama 1 jam, selanjutnya sampel dihaluskan dalam nitrogen cair. Setelah itu dilarutkan dalam *extraction solution* [80% metanol yang mengandung 1% asam asetat glasial v/v dan 10 mg/l *butylated hydroxytoluene*] dan disimpan pada suhu 4°C selama 24 jam. Ekstrak disaring menggunakan kertas whatman No.1 dan dicuci dengan 0,5 ml *extraction solution*. Supernatan hasil saringan diatur pH-nya dengan natrium bikarbonat dan dipekatkan dengan penguapan *vaccum* menggunakan *rotary evaporator*, kemudian disaring menggunakan *C-18 sep-pak cartridge*. Hasil saringan dikurangi volumenya hingga tinggal 1/5 bagian menggunakan *rotary evaporator* suhu 37°C, kemudian ditambah $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ dengan volume yang sama dan pH diatur 3,2 dengan asam asetat. Ekstraktan disaring dengan menggunakan membran filter berukuran 0,45 mm. Ekstraktan yang diperoleh diinjeksikan pada *C-18 HPLC column* menggunakan fase mobil 40% metanol dan 1%

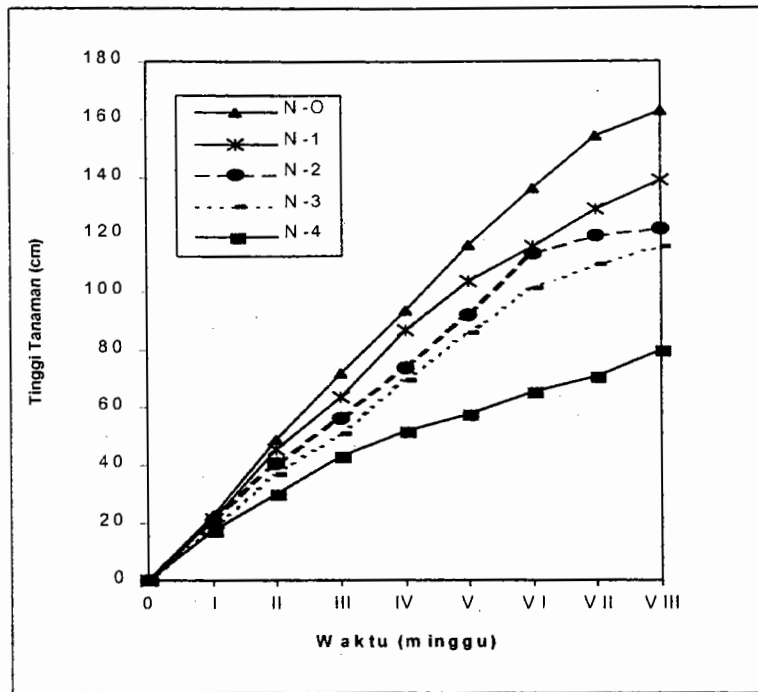
asam asetat pH 3,5 dengan kecepatan alir 1 ml/min pada panjang gelombang 254 nm.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pertumbuhan Tanaman

Tanaman sorgum varietas UPCA-S1 mempunyai produktivitas yang tinggi karena kemampuannya untuk tumbuh pada tanah kering maupun salin, disamping tahan terhadap hama. Adanya peningkatan kadar garam dalam tanah mengakibatkan potensial air tanah lebih rendah dari tumbuhan. Pada kondisi demikian, jaringan akan kehilangan air dan tekanan turgor sehingga dapat menghambat pertumbuhan vegetatif tanaman karena pemanjangan jaringan bergantung pada tekanan turgor.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan kadar garam menghambat pertumbuhan tanaman sorgum. Hambatan pertumbuhan tanaman sorgum ditunjukkan dengan semakin tinggi kadar NaCl yang diberikan, semakin turun tinggi tanaman (Gambar 1). Hambatan ini diduga karena adanya garam NaCl yang menyebabkan tanaman mengalami cekaman air dan cekaman garam



Gambar 1. Pertumbuhan tinggi tanaman sorgum selama pertumbuhan vegetatif pada perlakuan cekaman NaCl.

Keterangan

- N-0 = Kontrol
- N-1 = Kadar NaCl 0,125%
- N-2 = Kadar NaCl 0,25%
- N-3 = Kadar NaCl 0,375%
- N-4 = Kadar NaCl 0,50%

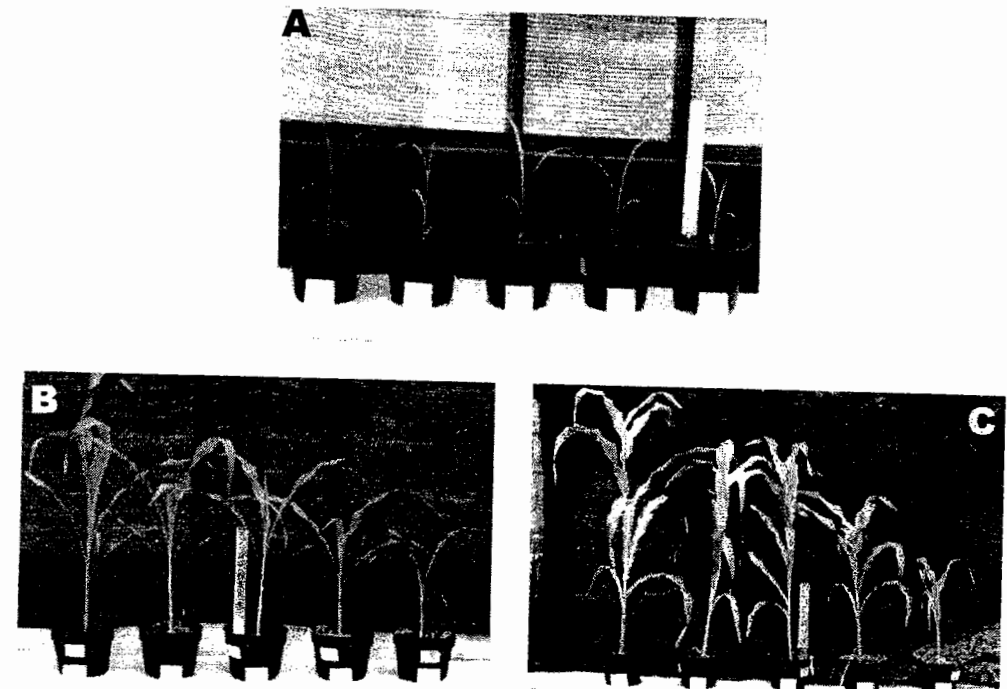
pada waktu yang bersamaan, serta berkurangnya konsentrasi hormon yang memacu pertumbuhan dan meningkatnya konsentrasi hormon yang menghambat pertumbuhan.

Perbandingan penampakan tanaman sorgum varietas UPCA-S1 pada perlakuan NaCl pada

minggu ke-2, 5, dan 8 setelah tanam dapat dilihat pada gambar 2A, 2B, dan 2C. Pada minggu ke-2 hambatan pertumbuhan tanaman belum terlihat jelas antara kontrol dan perlakuan NaCl. Sedangkan pada minggu ke-5 dan 8 perbedaan pertumbuhan terlihat jelas. Sema-

kin tinggi kadar NaCl menyebabkan tinggi tanaman semakin menurun. Disamping itu, pada perlakuan NaCl 0,5% menunjukkan gejala kekurangan air sehingga tanaman tampak layu dan pada bagian ujung dan tepi daun menguning dan nekrosis

Hambatan pertumbuhan akibat cekaman garam berkaitan dengan berkurangnya penyerapan air dan unsur hara. Selain itu, adanya ion-ion dalam jumlah berlebihan mengganggu proses metabolisme pada tanaman. Keadaan ini berpengaruh terhadap kemampuan akar dalam menyerap air dan hara



Gambar 2. Tanaman sorgum varietas UPCA-S1 setelah perlakuan NaCl pada kadar 0 – 0,5%

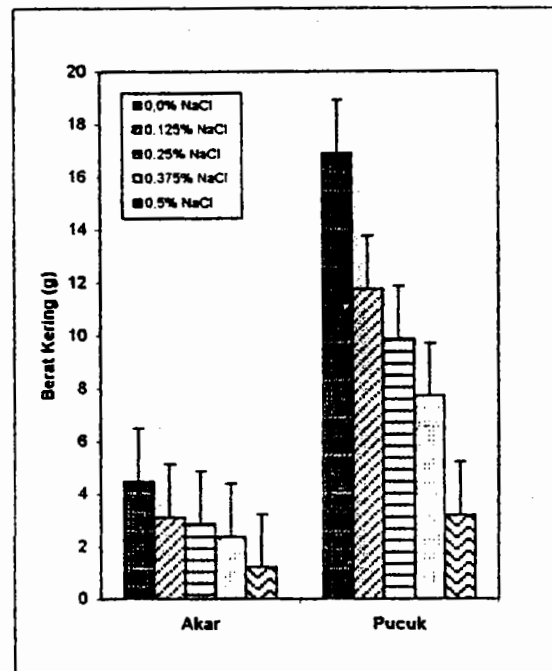
- A. 2 minggu setelah tanam
- B. 5 minggu setelah tanam
- C. 8 minggu setelah tanam

dari tanah. Akibatnya, berkurangnya suplai air menyebabkan fotosintesis menurun.

Menurut Iyengar dan Reddy (1994), cekaman garam mempengaruhi pertumbuhan secara tidak langsung dengan menurunkan kecepatan fotosintesis yang disebabkan oleh penutupan stomata atau pengaruh langsung garam terhadap organ fotosintesis. Dengan demikian, tanaman yang

dihadapkan pada kadar garam tinggi dengan cepat mengalami penurunan kecepatan pertumbuhan. Fenomena tersebut merupakan konsekuensi langsung dan gangguan metabolik yang diinduksi oleh garam NaCl.

Peningkatan kadar garam NaCl berpengaruh nyata terhadap berat akar dan pucuk tanaman sorgum. Dari gambar 3 terlihat semakin tinggi kadar NaCl, berat akar dan



Gambar 3. Berat kering akar dan pucuk tanaman sorgum setelah perlakuan cekaman NaCl

pucuk semakin menurun. Hasil analisis keragaman berat segar dan berat kering akar dan pucuk dengan taraf kepercayaan 99% menunjukkan ada beda nyata antarperlakuan (tabel 1 dan 2).

Pertumbuhan tanaman berkaitan erat dengan proses fotosintesis. Hambatan fotosintesis yang disebabkan oleh kondisi kekurangan air berpengaruh terhadap berat tanaman. Kafkafi dan Bernstein (1996)

Tabel 1. Pengaruh perlakuan NaCl terhadap berat dan kandungan air akar tanaman sorgum

Perlakuan NaCl (%)	Berat Segar Akar (g)	Berat Kering Akar (g)	Kandungan air (%)
0	22,554 a	4,487 a	80,10
0,125	21,920 a	3,217 b	85,32
0,250	19,516 ab	2,864 bc	85,32
0,375	15,268 b	2,385 cd	84,37
0,500	6,896 c	1,230 d	82,16

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji 0,01 dengan uji DMRT

Tabel 2. Pengaruh perlakuan NaCl terhadap berat dan kandungan air pucuk tanaman sorgum

Perlakuan NaCl (%)	Berat Segar (g)	Berat Kering (g)	Kandungan air (%)
0	102,746 a	16,909 a	83,54
0,125	72,011 b	11,763 b	83,66
0,250	51,698 c	9,681 bc	81,27
0,375	39,712 c	7,718 c	80,56
0,500	16,463 d	3,212 d	80,48

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji 0,01 dengan uji DMRT

mengemukakan bahwa pertumbuhan akar dan pucuk saling tergantung satu sama lain. Dalam hal ini pucuk tergantung pada akar untuk suplai air, mineral, dan substansi lain yang diabsorpsi akar dan ditranspor ke pucuk. Di sisi lain, akar tergantung pada pucuk untuk kebutuhan hasil fotosintesis dan substansi lain yang disintesis pucuk dan ditranspor ke akar. Dengan demikian, penurunan suplai nutrisi ke pucuk mempunyai kontribusi terhadap pertumbuhan yang dapat dilihat dari penurunan berat pucuk tanaman. Pada tabel 1 dan 2 terlihat kandungan air akar dan pucuk semakin menurun dengan meningkatnya kadar NaCl. Hal ini berkaitan

dengan berkurangnya suplai air ke akar karena pengaruh osmotik garam.

Pada tabel 3 ditunjukkan rasio berat kering akar/pucuk meningkat dengan meningkatnya kadar NaCl yang diberikan. Menurut Russel (1982) rasio akar/pucuk dipengaruhi oleh faktor genetik dan faktor lingkungan yang meliputi cahaya, persediaan nutrisi, dan temperatur. Pada penelitian ini yang lebih berpengaruh adalah persediaan nutrisi karena adanya garam akan mempengaruhi penyerapan ion dan nutrisi sehingga dapat mempengaruhi rasio akar/pucuk tanaman. Pertumbuhan akar kurang sensitif terhadap perubahan osmotik daripada pucuk. Pada

Tabel 3. Pengaruh perlakuan NaCl terhadap berat kering akar, pucuk, dan rasio akar/pucuk tanaman sorgum

Perlakuan NaCl (%)	Berat Kering (g)		Rasio Akar/Pucuk
	Akar	Pucuk	
0	4,487 a	16,909 a	26,53
0,125	3,217 b	11,763 b	27,34
0,250	2,864 bc	9,681 bc	29,58
0,375	2,385 cd	7,718 c	30,90
0,500	1,230 d	3,212 d	38,29

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan

kadar garam menghambat pertumbuhan pucuk, pertumbuhan akar belum terhambat sehingga terjadi peningkatan rasio akar/pucuk apabila tanaman dihadapkan pada cekaman garam.

B. Tanggapan Tanaman terhadap Cekaman NaCl

Peningkatan kadar prolin akar maupun daun merupakan tanggapan tanaman terhadap cekaman lingkungan seperti kekeringan

Tabel 4. Kadar prolin akar tanaman setelah perlakuan NaCl pada pengamatan minggu ke-2 (I), 5 (II), dan 8 (III)

Perlakuan NaCl (%)	Kadar prolin akar ($\mu\text{mol/g}$ berat segar)		
	I	II	III
0	1,331 a	1,697 a	2,130 a
0,125	2,019 a	3,647 ab	4,439 ab
0,250	1,815 a	3,569 ab	6,099 bc
0,375	1,812 a	5,392 b	6,404 c
0,500	2,028 a	5,310 b	6,868 c

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji 0,01 dengan uji DMRT

Tabel 5. Kadar prolin daun tanaman sorgum setelah perlakuan NaCl pada pengamatan minggu ke-2 (I), 5 (II), dan 8 (III)

Perlakuan NaCl (%)	Kadar prolin daun ($\mu\text{mol/g}$ berat segar)		
	I	II	III
0	1,985 a	1,867 a	1,845 a
0,125	1,875 a	2,470 a	3,443 ab
0,250	1,855 a	3,256 a	4,195 ab
0,375	1,867 a	3,121 a	6,978 bc
0,500	5,364 b	7,045 b	7,372 c

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji 0,01 dengan uji DMRT

ataupun osmolaritas tinggi. Dari tabel 4 dan 5 terlihat kadar prolin meningkat dengan meningkatnya kadar garam NaCl meskipun peningkatannya tidak proporsional. Selain itu, lamanya cekaman juga meningkatkan kandungan prolin.

Berdasarkan hasil analisis kadar prolin dengan metode ninhidrin diketahui bahwa kadar prolin pada daun lebih tinggi daripada akar. Hal ini dapat dipahami bahwa pada kadar garam menghambat pertumbuhan pucuk, pertumbuhan akar belum terhambat. Dengan adanya cekaman garam NaCl, akar memberikan sinyal pada sel-sel daun yang lebih dulu mengalami cekaman untuk mensintesis senyawa yang berperan dalam peningkatan toleransi terhadap cekaman. Penurunan tekanan turgor merupakan pemacu utama akumulasi prolin pada tanaman yang dihadapkan pada kondisi kekeringan dan atau cekaman garam. Peningkatan kadar prolin pada akar dan daun diduga sebagai tanggapan tanaman terhadap peningkatan kadar garam yang ada di lingkungannya.

Menurut Jaiwal *et al.* (1997), cekaman garam mengakibatkan

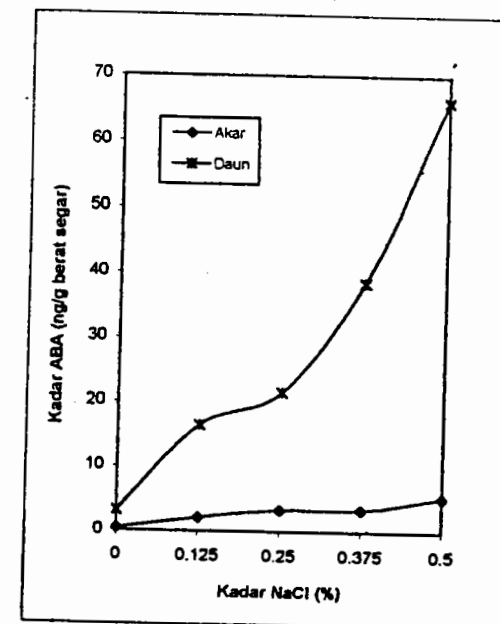
asam amino prolin dalam jaringan-nya. Sehubungan dengan ketahanan tumbuhan terhadap kadar garam tinggi, Greenway dan Munns (1980) mengemukakan bahwa ada hubungan resistensi tumbuhan terhadap garam dalam tanah dengan peningkatan kandungan prolin, pengaturan translokasi unsur hara dan efisiensi penggunaan air. Prolin merupakan senyawa organik yang mempunyai nilai osmotik tinggi yang disintesis sel untuk mengatasi gangguan osmotik. Dalam hal ini, diduga prolin berperan dalam proses adaptasi tanaman sorgum terhadap peningkatan kadar garam.

Peningkatan kandungan asam absisat pada tanaman yang mengalami cekaman lingkungan merupakan respon adaptif tanaman terhadap lingkungan yang tidak menguntungkan. Menurut Bray (1993) akumulasi asam absisat menginduksi peningkatan prolin dan penutupan stomata yang berguna untuk mengurangi kecepatan transpirasi. Hal ini menunjukkan bahwa asam absisat berperan sebagai mediator yang mengendalikan respon adaptif tanaman terhadap cekaman lingkungan. Akar tanaman yang mengalami cekaman akan mensintesis asam

absisat yang selanjutnya memberikan sinyal pada daun untuk mensintesis senyawa yang berperan dalam peningkatan toleransi seperti prolin, betain maupun poliol serta mengatur gerakan stomata untuk mengurangi transpirasi berkaitan dengan suplai air yang berkurang.

Kondisi cekaman memacu tanaman untuk mempertahankan hidupnya mengalami perubahan hormon, yaitu kadar hormon auksin, sitokinin, dan giberelin

menurun sedangkan asam absisat dan etilen meningkat. Asam absisat meningkat pada tanaman yang diekspos cekaman lingkungan dan bertindak sebagai sinyal, umumnya tidak hanya sebagai sinyal, tetapi untuk memacu aklimasi jaringan terhadap cekaman. Asam absisat juga berperan sebagai anti-transpiran melalui pengendalian gerakan stomata. Meningkatnya kandungan asam absisat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat (Walker-Simmons, 1987).



Gambar 4. Kadar asam absisat pada akar dan daun tanaman sorgum setelah perlakuan cekaman NaCl.

Hasil pengukuran kadar asam absisat pada akar dan daun tanaman sorgum ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil tersebut terlihat kadar asam absisat pada akar lebih rendah daripada daun. Dari hasil yang diperoleh memberikan petunjuk adanya peningkatan kandungan asam absisat pada tanaman yang mengalami cekaman NaCl.

Pengukuran kadar asam absisat dengan metode HPLC bersifat tentatif dan sangat tergantung pada jenis kolom yang digunakan. Dengan demikian, untuk pengukuran kandungan asam absisat secara akurat perlu dilakukan dengan metode yang lebih teliti seperti GC-MS atau ELISA.

KESIMPULAN

Peningkatan kadar NaCl mempengaruhi pertumbuhan dan osmoregulasi tanaman sorgum yang dapat dilihat dari:

1. Penurunan tinggi tanaman, berat segar dan berat kering akar, berat segar dan berat kering pucuk, serta kandungan air tanaman.
2. Kandungan prolin dan asam absisat meningkat sebagai tanggapan terhadap peningkatan kadar NaCl.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Fakultas Biologi UGM yang telah menyediakan dana melalui DIKS Fakultas dan memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini. Kepada Prof. Dr. Santosa selaku pembimbing dan Prof. Dr. Maurice S.B. Ku yang telah memberi banyak informasi berkaitan dengan penelitian ini diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

PUSTAKA ACUAN

- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D. 1973. Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. *Plant and Soil* 39:205–207.
- Bray, E.A. 1993. Molecular Responses to Water Deficit. *Plant Physiol.* 103: 1035–1040.
- Greenway, H. and Munns, R. 1980. Mechanisms of salt Tolerance in Nonhalophytes. *Ann.Rev. Plant. Physiol.* 31:149–190.
- Iyengar, E.R.R. and Reddy, M.P. 1994. *Crop Response to Salt Stress: Sea Water Application and Prospects*. In: Pessarakli, M.(ed), *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker Inc. New York. Basel. Hongkong. p. 183–201.

- Jaiwal, P.K., Sing, R.P., and Gulati, A. 1997. *Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plant*. Science Publishers. Inc. USA.
- Kafkafi, U. and Bernstein, N. 1996. *Root Growth Under Salinity Stress*. In: Weisel, Y., Eshel, A., and Kafkafi, U. (Eds), *Plant Roots. The Hidden Half*. (Second Edition, Revised and Expanded). Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hongkong. p. 435–451.
- Le Rudulier, D., Strom, A.R., Dandekar, A.M. Smith, L.T., and Valentine, R.C. 1984. Molecular Biology of Osmoregulation. *Science*. 234:1064–1068.
- Levitt, J. 1972. *Responses of Plants to Environmental Stresses*. Academic Press. New York. 489–523.
- Merlot, S. and Giraudat, J. 1997. Genetic Analysis of Absciscic Acid Signal Transduction. *Plant Physiol.* 114: 751–757.
- Moons, A., Bauw, G., Prinsen, E., Van Montagu, M., and Van Des Straeten, D. 1995. Molecular and Physiological Response to Ab-

scisic Acid and Salt in Roots of Salt-Sensitive and Salt-Tolerant Indica Rice Varieties. *Plant Physiol.* 107: 177–186.

- Morgan, J.M. 1984. Osmoregulation and Water Stress in Higher Plant. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 35: 299–319.
- Russel, R.S. 1982. *Plant Root System Their Function and Interaction with The Soil*. McGrawHill-Book Company (UK) Limited. Meiden Head. Berkshire. England. p. 20–23.
- Rodriquez, H.G., Robert, J.K.M., Jordan, W.R. and Drew, M.C. 1997. Growth, Water Relations, and Accumulation of Organic and Inorganic Solutes in Roots of Maize Seedlings during Salt Stress. *Plant Physiol.* 113: 881–893.
- Walker-Simmons, M. 1987. ABA Levels and Sensitivity in Developing Wheat Embryos of Sprouting Resistant and Susceptible Cultivars. *Plant Physiol.* 84: 61–66.